

PENURUNAN HIDROGRAF SATUAN DENGAN DATA HUJAN HARIAN

Joko Sujono*)

ABSTRACT

The unit hydrograph method is one of flood estimation methods commonly used for design flood estimation. A number of problems emerges in the application of the unit hydrograph method, especially in Indonesia, such as lack of automatic rainfall data.

Unit hydrograph derivation using daily rainfall data and alternating block method rainfall distribution in two selected catchments at Cimanuk river basin produce relatively small bias compare with unit hydrograph derived based on automatic rainfall data. Moreover, unit hydrographs derived using daily rainfall data yield slightly better results than synthetic unit hydrograph.

PENGANTAR

Banyak metoda prakiraan banjir rancangan untuk bangunan hidraulik yang telah dikembangkan, mulai dari metoda yang cukup sederhana seperti metoda rational sampai yang sangat kompleks seperti model matematik pengalihragaman hujan - aliran. Salah satu metoda yang sampai saat ini masih banyak digunakan di Indonesia untuk prakiraan banjir rancangan yaitu metoda hidrograf satuan. Metoda tersebut relatif sederhana, mudah dalam penerapannya, tidak memerlukan data yang kompleks dan memberikan hasil rancangan yang cukup teliti.

Walaupun metoda hidrograf satuan cukup sederhana, akan tetapi dalam praktek tidak selalu dapat diterapkan, khususnya di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan data utama yang diperlukan untuk menurunkan hidrograf satuan terukur di daerah aliran sungai (DAS) yang ditinjau seperti data hujan otomatis dan juga informasi tentang agihan (distribution) hujan jam-jaman pada umumnya tidak tersedia.

Pemilihan agihan hujan jam-jaman yang digunakan baik untuk penurunan hidrograf satuan dan perhitungan banjir rancangan tidak mudah ditetapkan. Selain karena data hujan otomatis tidak selalu tersedia, tetapi juga disebabkan karena kejadian hujan sebagai fenomena alam adalah tidak tetap dan selalu berubah dari waktu ke waktu (time variant). Dalam praktek, pemilihan agihan hujan ini masih dilakukan sembarang dikarenakan belum ada kajian menyeluruh tentang agihan hujan di Indonesia. Konsekuensi dari pemilihan agihan hujan tersebut dapat memberikan hasil rancangan yang tidak memuaskan mungkin *overestimated* maupun *underestimated* yang berdampak kerugian materiil maupun jiwa manusia.

Penelitian tentang hidrograf satuan sudah banyak dilakukan, akan tetapi penelitian tersebut belum menyinggung hal yang cukup mendasar tentang penerapan hidrograf satuan dikaitkan dengan ketersediaan data, model agihan hujan yang dipakai baik untuk penurunan hidrograf satuan maupun untuk perancangan.

Dalam paper ini disajikan penurunan hidrograf satuan dengan menggunakan data hujan yang umumnya tersedia di Indonesia yaitu data hujan harian. Model agihan hujan jam-jaman dipilih sedemikian rupa sehingga mudah dalam penerapannya tanpa mengurangi ketelitian hasil rancangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori hidrograf satuan yang pertama kali dikemukakan oleh Sherman pada tahun 1932 merupakan salah satu model pengalihragaman hujan menjadi aliran yang cukup sederhana. Sejalan dengan kesederhanaan teori hidrograf satuan dengan hasil yang dipandang masih cukup baik, maka teori tersebut terus berkembang. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya model hujan-aliran yang bertitik tolak dari teori hidrograf satuan, seperti hidrograf satuan terukur; hidrograf satuan sintetis misal Snyder (1938), Gama I (Sri Harto, 1985); hidrograf satuan tak berdimensi (dimensionless unit hydrograph) misal FSR (NERC, 1975), Inman (Inman, 1987; Sherwood, 1994); hidrograf rancangan tak berdimensi (dimensionless design hydrograph) (Sujono, 1995); hidrograf satuan rancangan (design unit hydrograph) (Sujono dan French, 1995).

Terapan hidrograf satuan untuk prakiraan banjir rancangan tidak terlepas dari beberapa ketidak pastian antara lain pemilihan agihan hujan rancangan. Dewasa

* Ir. Joko Sujono, M.Eng., dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM

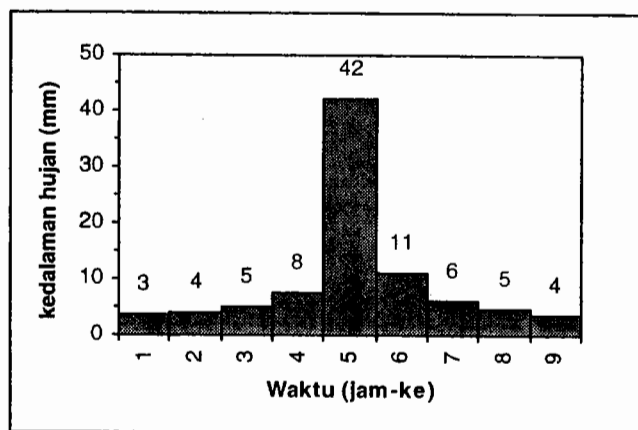
ini pemilihan agihan hujan baik untuk penurunan hidrograf satuan maupun untuk perancangan masih dilakukan sembarang tanpa patokan yang jelas. Chow et al. (1988) dan Koutsoyiannis (1994) menjelaskan beberapa model agihan hujan yang dapat digunakan untuk perancangan. Akan tetapi model agihan hujan tersebut belum banyak dipakai dalam penerapan teori hidrograf satuan. Sujono dan French (1995) menggunakan beberapa agihan hujan untuk menurunkan UNETgraph yaitu hidrograf satuan rancangan yang didasarkan pada hujan rancangan dan banjir rancangan untuk kala ulang yang sama. Terapan UNETgraph dengan model agihan hujan *alternating block method* (ABM) untuk prakiraan banjir menunjukkan hasil yang relatif lebih baik dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik.

LANDASAN TEORI

Untuk menurunkan hidrograf satuan suatu kasus banjir tertentu dengan menggunakan data hujan harian, maka diperlukan suatu model untuk mengalihragamkan hujan harian penyebab banjir ke selang waktu yang lebih pendek misal hujan jam-jaman. Selain itu juga perlu diketahui lama hujan yang terjadi yang mengakibatkan banjir tersebut.

Banyak model agihan hujan yang telah dikembangkan seperti model *uniform*, segitiga, ABM (Chow et al., 1988). Model agihan tersebut dapat digunakan untuk mengalihragamkan hujan harian ke hujan jam-jaman. Dalam penelitian ini hanya digunakan model agihan ABM, karena model ini mulai diterapkan di Indonesia (misal Anonim, 1989; 1993) dan memberikan hasil yang baik untuk perancangan (Chow et al., 1988; Koutsoyiannis, 1994; Sujono dan French, 1995).

Agihan ABM yaitu suatu pola agihan hujan dimana intensitas hujan jam-jaman diatur sedemikian rupa sehingga intensitas hujan maksimum terletak ditengah-tengah lama hujan dan selanjutnya menurun secara teratur seperti pada Gambar 1. Detail penurunan agihan ABM dapat dilihat di pustaka terkait seperti Chow et al. (1988).



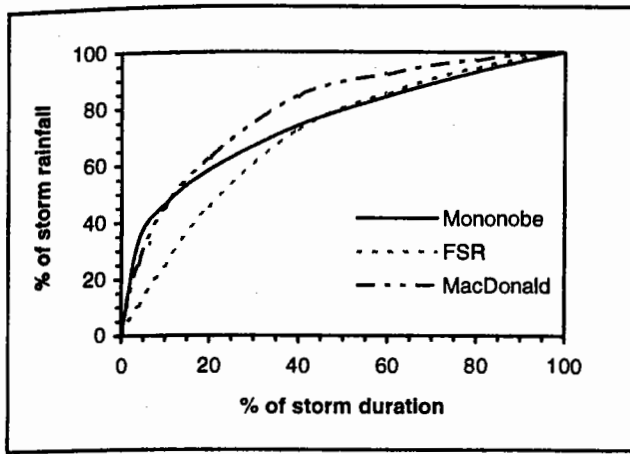
Gambar 1. Contoh agihan hujan dengan *alternating block method* (ABM)

Untuk menurunkan agihan dengan menggunakan model ABM diperlukan informasi data hujan dengan lama hujan yang pendek misal jam-jaman atau juga dapat diturunkan dari kurva profil hujan yang merupakan grafik hubungan antara intensitas hujan dengan lama hujan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk kasus dimana data hujan jam-jaman, profil hujan tidak tersedia, dapat pula digunakan rumus empirik seperti rumus Mononobe (misal Sosrodarsono dan Takeda, 1983). Rumus empiris tersebut digunakan untuk mengubah intensitas hujan harian ke intensitas hujan dengan lama hujan yang lebih pendek, yang dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$I_t = \left(\frac{I_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dengan I_t adalah intensitas hujan untuk lama hujan t (mm/jam), I_{24} merupakan intensitas hujan harian (mm/hari), sedangkan t adalah lama hujan (jam).

Lama hujan dapat didekati dengan menghitung waktu konsentrasi DAS yang ditinjau. Waktu konsentrasi, T_c merupakan waktu yang dibutuhkan oleh limpasan air dari titik terjauh di DAS sampai ke titik paling hilir (stasiun hidrometri). Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa rumus empirik yang ada seperti Kirpich, Bransby-Williams, *Australian Rainfall and Runoff* (Pilgrim, 1987).



Gambar 2. Contoh bentuk profile hujan
(Anonim, 1996)

CARA PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan data DAS Cimanuk yaitu DAS Cimanuk di Bojongloa dan di Leuwigoong. Pemilihan kedua DAS tersebut semata-mata didasarkan pada ketersediaan data yaitu cukup tersedia data hujan otomatis yang tersebar di DAS dan juga tersedianya data debit aliran (AWLR). Jumlah stasiun hujan otomatis di DAS Cimanuk di Bojongloa dengan luas DAS 182,93 km² adalah 4 buah stasiun sedang DAS Cimanuk di Leuwigoong dengan luas DAS 771,75 km² adalah 7 buah stasiun (Yutono, 1991).

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, selanjutnya dilakukan pemilihan data untuk analisis selanjutnya. Untuk penurunan hidrograf satuan, dipilih kasus banjir dan hujan penyebab banjir dengan kriteria sebagai berikut:

1. hidrograf banjir berpuncak tunggal, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisis,
2. hujan penyebab banjir terjadi merata di seluruh DAS, hal ini dipilih untuk memenuhi kriteria teori hidrograf satuan,
3. dipilih kasus banjir dengan debit puncak yang relatif cukup besar, minimal dengan kala ulang lebih besar 1 tahun. Persyaratan ini diambil karena dalam keperluan praktis besarnya kala ulang untuk perancangan bangunan hidraulik pada umumnya lebih besar dari 1 tahunan.

Berdasarkan kriteria di atas didapat 13 kasus banjir untuk DAS Cimanuk di Bojongloa dan 9 buah kasus di Leuwigoong.

Untuk menurunkan hidrograf satuan yang mewakili DAS yang ditinjau dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Hidrograf satuan terukur dengan data hujan otomatis diturunkan dengan menggunakan data debit aliran dan hujan otomatis terukur penyebab banjir.
2. Hidrograf satuan dengan hujan harian diturunkan dengan menggunakan data debit terukur dan data hujan harian penyebab banjir yang diagihkan terlebih dahulu selama waktu konsentrasi (T_c) dengan menggunakan model agihan hujan ABM, sedang T_c dihitung dengan rumus empiris yang ada.
3. Penurunan hidrograf satuan di atas dilakukan untuk semua kasus banjir dengan menggunakan metoda 'least-square'.
4. Hidrograf satuan yang mewakili DAS yang ditinjau diperoleh dengan mencari nilai reratanya dari semua kasus banjir yang dapat dilakukan dengan mencari nilai rerata untuk tiga besaran hidrograf satuannya yaitu debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p), dan waktu dasar (T_b).

Hasil analisis di atas selanjutnya dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik (HSS) Gama I yang dikembangkan untuk DAS di pulau Jawa (Sri Harto, 1985).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk menurunkan hidrograf satuan dengan menggunakan data hujan harian diperlukan suatu model agihan untuk mengubah hujan harian ke lama hujan yang lebih pendek. Untuk maksud tersebut selain model agihan hujan juga diperlukan informasi mengenai lama hujannya yang dapat didekati dengan menghitung besarnya waktu konsentrasi T_c untuk DAS yang ditinjau. Berdasarkan hasil analisis lama hujan di DAS Cimanuk yang dilakukan oleh Yutono (1991), dapat diketahui bahwa rumus Kirpich memberikan hasil yang paling baik dibandingkan dengan rumus yang lain (Sujono, 1997). Dengan demikian rumus Kirpich dipilih untuk analisis selanjutnya. Hujan harian untuk DAS Cimanuk di Bojongloa dan di Leuwigoong di agihkan dengan model ABM berturut-turut untuk lama hujan T_c sebesar 3 jam dan 8 jam.

Dengan agihan hujan ABM dan lama hujan sesuai dengan rumus Kirpich tersebut, maka penurunan hidrograf satuan dengan data hujan harian dapat dilakukan dengan metoda yang ada. Agihan

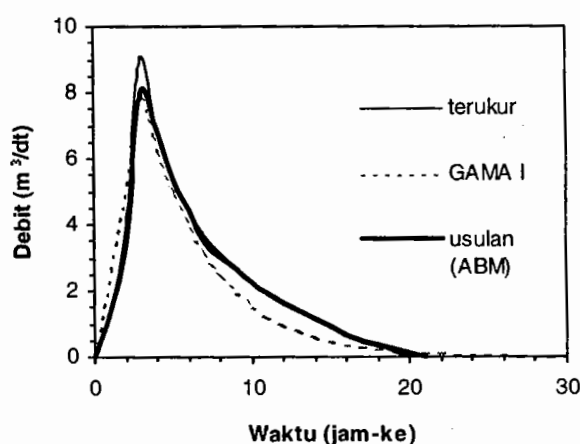
hujan berdasarkan data hujan otomatis dan agihan hujan harian dengan ABM serta hasil analisis penurunan hidrograf satuan untuk semua kasus banjir dengan agihan-agihan hujan tersebut dapat dilihat di Sujono (1997), sedang rerata hidrograf satuannya disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Nilai rerata parameter hidrograf satuan untuk hidrograf satuan berdasarkan data hujan otomatis (terukur), hidrograf satuan berdasarkan data hujan harian dan ABM (usulan) dan HSS Gama I disajikan dalam Tabel I dan Tabel II.

Tabel I. Parameter hidrograf satuan DAS Cimanuk di Bojongloa

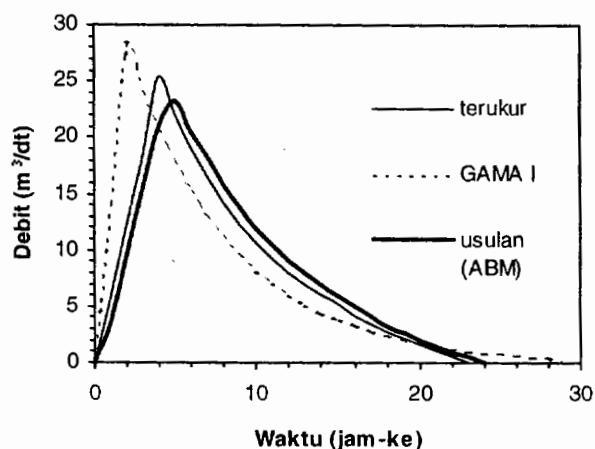
Parameter hidrograf satuan	terukur (otomatik)	Gama I	usulan (ABM)
waktu puncak, T_p (jam)	2.85	3.08	3.15
debit puncak, Q_p ($m^3/detik$)	9.04	7.84	8.00
waktu dasar, T_b (jam)	19.62	30.96	20.85
volume (mm)	0.97	0.89	0.99

Tabel II. Parameter hidrograf satuan DAS Cimanuk di Leuwigoong

Parameter hidrograf satuan	terukur (otomatik)	Gama I	usulan (ABM)
waktu puncak, T_p (jam)	3.89	2.11	5.44
debit puncak, Q_p ($m^3/detik$)	25.45	28.02	23.34
waktu dasar, T_b (jam)	23.00	28.91	24.44
volume (mm)	1.00	0.97	0.99



Gambar 3. Hidrograf satuan DAS Cimanuk di Bojongloa



Gambar 4. Hidrograf satuan DAS Cimanuk di Leuwigoong

Unjukraga hidrograf satuan dengan hujan harian dan ABM (usulan) serta HSS Gama I relatif terhadap hidrograf satuan yang diturunkan dengan data hujan otomatis disajikan dalam Tabel III dan Tabel IV. Dari tabel tersebut terlihat dengan jelas bahwa besarnya penyimpangan yang terjadi untuk semua parameter hidrograf satuan relatif cukup kecil baik untuk hidrograf satuan dengan hujan harian maupun HSS Gama I. Namun demikian hidrograf satuan yang diturunkan berdasarkan data hujan harian memberikan hasil yang relatif lebih baik dibandingkan dengan HSS Gama I.

Tabel III. Penyimpangan parameter hidrograf satuan DAS Cimanuk di Bojongloa

Parameter hidrograf satuan	Penyimpangan (%)	
	Gama I	usulan (ABM)
waktu puncak, T_p (jam)	8.36	10.81
debit puncak, Q_p ($m^3/detik$)	-13.25	-11.48
waktu dasar, T_b (jam)	57.83	6.27
volume (mm)	-7.53	2.06

Tabel IV. Penyimpangan parameter hidrograf satuan DAS Cimanuk di Leuwigoong

Parameter hidrograf satuan	Penyimpangan (%)	
	Gama I	usulan (ABM)
Waktu puncak, T_p (jam)	-45.73	40.00
Debit puncak, Q_p ($m^3/detik$)	10.08	-8.29
Waktu dasar, T_b (jam)	25.69	6.28
Volume (mm)	-2.76	-0.67

Melihat penyimpangan yang terjadi relatif cukup kecil, menunjukkan bahwa hidrograf satuan dapat diturunkan dengan data hujan harian dengan model agihan ABM. Hasil tersebut dengan sendirinya akan mengurangi kesulitan yang timbul dalam penerapan hidrograf satuan. Masalah kekurangan data hujan otomatis dapat diatasi, pemilihan agihan hujan baik untuk penurunan hidrograf satuan maupun untuk perancangan dapat dilakukan dengan relatif mudah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan uraian dan hasil analisis di atas, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Model agihan hujan *alternating block method* (ABM) dapat digunakan untuk menurunkan *hyetograph* dari hujan harian, sedangkan lama hujannya dapat didekati dengan rumus Kirpich. Dengan agihan ABM dan data hujan harian tersebut, masalah kelangkaan data hujan otomatis untuk penurunan hidrograf satuan dapat diatasi. Selain itu agihan tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung hidrograf banjir rancangan.
2. Hidrograf satuan yang diturunkan dengan menggunakan data hujan harian dengan model agihan ABM memberikan penyimpangan yang relatif kecil terhadap hidrograf satuan yang diturunkan dengan data hujan otomatis. Dengan demikian analisis hidrograf banjir rancangan yang dihitung dengan menggunakan hidrograf satuan berdasarkan data hujan harian akan tidak jauh berbeda dengan yang didasarkan pada hidrograf satuan dengan data hujan otomatis.
3. Untuk memberikan hasil yang dapat diandalkan dan dapat digunakan sebagai patokan rancangan, maka penurunan hidrograf satuan dengan data hujan harian dengan model agihan ABM perlu diuji lebih lanjut untuk berbagai kondisi DAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1989, Negara River Basin Overall Irrigation Development Plan Study, Annexes, Japan International Cooperation Agency.

- Anonim, 1993, The Master Plan on Water Resources Development and Feasibility Study for Urgent Flood Control and Urban Drainage in Semarang City and Suburbs, Draft Final Report, Japan International Cooperation Agency.
- Anonim, 1996, Laporan Penunjang Hidrologi: Survey, Investigasi dan Design Rehabilitasi Bendungan Kategori B, PT Multimera Harapan, Jakarta.
- Chow, V.T., Maidment, M.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Inman, E.J., 1987, Simulation of flood hydrographs for Georgia streams, *US Geological Survey Water-Supply Paper 2317*.
- Koutsoyiannis, D., 1994, A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis, *Journal of Hydrology*, 156: 193-225.
- Natural Environment Research Council (NERC), 1975, *Flood Studies Report*, vol. 1, NERC, London.
- Pilgrim, D.H., (editor), 1987, *Australian Rainfall-Ruonoff: A Guide to Flood Estimation*, vol. I., Institution of Engineers, Barton, Australia, 374 pp.
- Sherwood, J.M., 1994, Estimation of peak-frequency relations, flood hydrographs, and volume-duration-frequency relations of ungauged small urban streams in Ohio, *US Geological Survey Water-Supply Paper 2432*.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. (editors), 1983, *Hidrologi untuk Pengairan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sri Harto Br., 1985, A Study of the Unit Hydrograph Basic Characteristics of Rivers on the Island of Java for Flood Estimation, PhD Thesis, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia.
- Sujono J., 1995, A Dimensionless Design Hydrograph with Minimum Inputs, Master Thesis, The University of New England, Armidale, Australia.
- Sujono J. and French R., 1995, Design UNETgraph practice, unpublished.
- Sujono J., 1997, Penurunan hidrograf satuan dengan data hujan harian, Laporan Penelitian DPP-UGM tahun 1996/1997.
- Yutono, A., 1991, Pengaruh Jumlah Kasus Banjir untuk Hitungan Hidrograf Satuan terhadap Ketelitian Hitungan Banjir Rancangan, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.